

リアルタイムストロンチウム 90 カウンター開発 New Veto Counter の宇宙線測定 3

1. はじめに

リアルタイムストロンチウム 90 カウンター(RTSC-A)の veto 装置の検出効率が 72%から性能向上するために、7-8 月にかけて基礎研究を実施した。設計を見直しスズノ技研にシンチレータ加工、接着を依頼した。8/31 に納品し 9 月上旬に新しい veto counter を製作した。宇宙線を用いて平均光電子数及び検出効率の入射位置依存性を調べた。本稿ではこれらの結果を示す。

2. New Veto Counter

プラスチックシンチレータと波長変換ファイバーを用いた荷電粒子検出システムの基礎研究の結果、99.9%以上の検出効率を達成するために図 1 に示す仕様を設計した。上部表面はサイズ $345 \times 200 \times 20 \text{ mm}^3$ のブロックを 2 枚互い違いに配置する。このブロックは $345 \times 99 \times 5 \text{ mm}^3$ のシンチレータ 6 枚、 $345 \times 49 \times 5 \text{ mm}^3$ のシンチレータ 4 枚、そして側面、上部中央、下部左右に配置される波長変換ファイバーシートから構成される。ファイバーはクラレ社 Y-11(300)MJ、4 層のシート状に整形され、両末端は十分研磨されている。片側読み出しで、一方は PMT と光学的に接続され、他方は伝搬した光が反射して PMT で読み出されるためにアルミマイラーが貼り付けられている。このブロックはアルミシートで覆われ遮光と漏光防止を促される。シンチレータ及びファイバーとの接着はスタイクキャスト 1266 が使用された。以降これらブロックの材質、製法などの仕様は共通である。長側面も同様に $345 \times 47 \times 15 \text{ mm}^3$ のブロックを互い違いに配置する仕様だ。このブロックは $345 \times 47 \times 5 \text{ mm}^3$ シンチレータが 3 枚と波長変換ファイバーシートから構成されている。短側面は $200 \times 47 \times 10 \text{ mm}^3$ のブロックから構成される。このブロックは $200 \times 47 \times 5 \text{ mm}^3$ シンチレータが 2 枚と波長変換ファイバーシートから構成されている。ここでシンチレータの加工・接着でかかった費用は 34 万円だ。

アップグレードした veto counter はこれらブロックを用いた 2 系統の検出器である。1 系統は $345 \times 200 \times 20 \text{ mm}^3$ が 1 個、 $345 \times 47 \times 15 \text{ mm}^3$ が 2 個、 $200 \times 47 \times 10 \text{ mm}^3$ が 1 個のブロックで構成される。1 系統におけるすべてのファイバーの片側末端は PMT: H11934-200 (1 辺 23 mm の光電面)に接続される。重量は 2.25 kg。基礎研究から予想された平均光電子数は 17 p.e.以上。製作途中の veto counter の 1 系統を図 2 に示す。

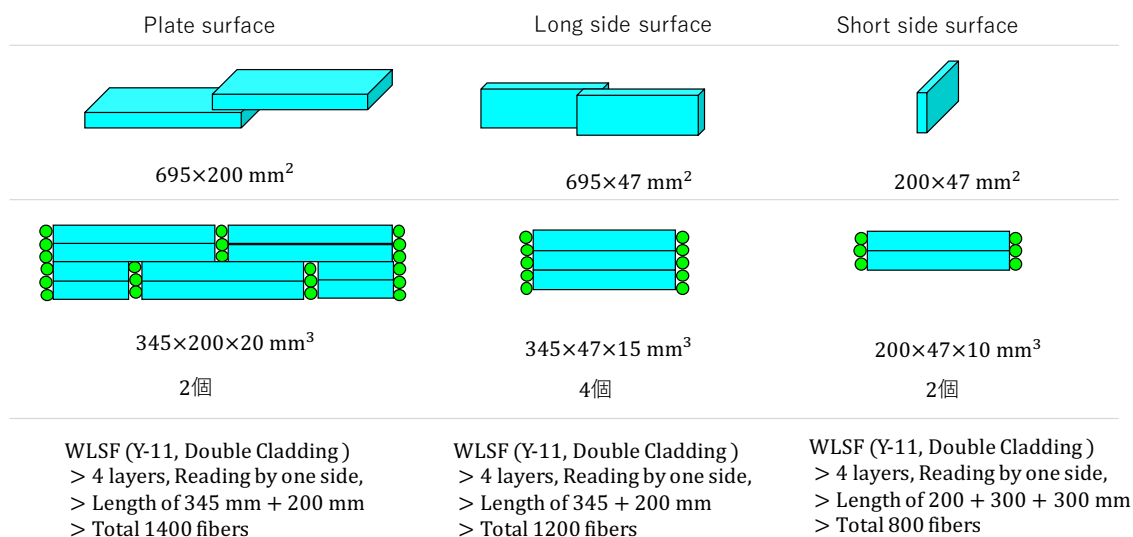


図 1. Veto 装置アップグレード仕様設計



図 2. Veto 装置の 1 系統部(写真)

3. セットアップ

アップグレードした veto counter の 1 系統を評価対象とする。対象検出器の上流に 2 つのシンチレーションファイバーシートで構成された有効面積 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ の荷電粒子測定器、下流に $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}^3$ のプラスチックシンチレータ板と波長変換ファイバーを用いた荷電粒子測定器が配置された。それぞれの検出器には PMT: R9880U-210 が接続されている。3 つの PMT からの信号は NIM-Discriminator(テクノランド社 N-TM405)で信号幅 10 ns の NIM 論理信号に波形整形され、NIM-Coincidence (カイズワークス社 470)で AND 演算され幅 100 ns の信号が出力される。この信号を宇宙線飛来事象として計測する。3 つの検出器がオーバーラップした領域は対象検出器のシンチレータ部分の領域内に設置したので、このトリガース象は宇宙線が対象検出器を必ず通過した事象であることを意味する。

トリガー信号は CAMAC ADC(豊伸電子社 C009)の Gate 端子に入力される。対象検出器のファイバーには PMT: H11934-200 が接続される。この PMT からの信号は同軸ケーブルでトリガー信号領域内に収まるように同期され、ADC 読み出し端子に入力された。この時 ADC の A/D 変換係数は事前に 0.264 pC/ADC と校正されている。

3. 結果

トリガー検出器の ADC 分布はベダスタル事象と比較して十分分離できる。それぞれのしきい値は 130, 130, 140 ADC Channel に設定された。(図 3)この条件で選択された事象において、ブロック 1, 2, 3 における平均光電子数の宇宙線入射位置一様性を図 4, 5, 6 にそれぞれ示す。ブロック 1 は平面(X, Y)=[(0, 0), (345, 200)] (mm)の領域において 15 点観測した。位置の誤差棒はトリガーがオーバーラップされた領域を示す。黒線は Y=150 mm の 5 点、赤線は Y=100 mm の 5 点、緑線は Y=50 mm の 5 点を示す。結果、PMT の取り付け部から離れるに従って光電子数は減少傾向である。また Y=150 mm の列は Y=50 mm に比べて光量が多い。これはファイバーシート製作による偏りであると考えられる。

ブロック 1 は 45~60 p.e.の光電子数が得られた。しかしこれは予想していた光電子数より 2 倍以上多い結果だ。考えられる要因は次の章で議論したい。ブロック 2 は 2 つ存在し、ブロック 1 と同様に入射位置が PMT から遠ざかるにつれて減少傾向を持つ。それぞれ 5 点観測した結果、平均光電子数は 50~65 p.e.の一様性は保証された。ブロック 3 は 45~50 p.e.の平均光電子数が観測され、他ブロックと同様に PMT からの距離に従って減少傾向を持つ。しきい値光電子数 0.5 p.e.における検出効率率はほぼ 100%を確認した。実際に使用する場合、供給電圧(つまり増幅率)は低くしきい値電圧は数十 mV に設定されるが問題にならない光量であると判断できる。

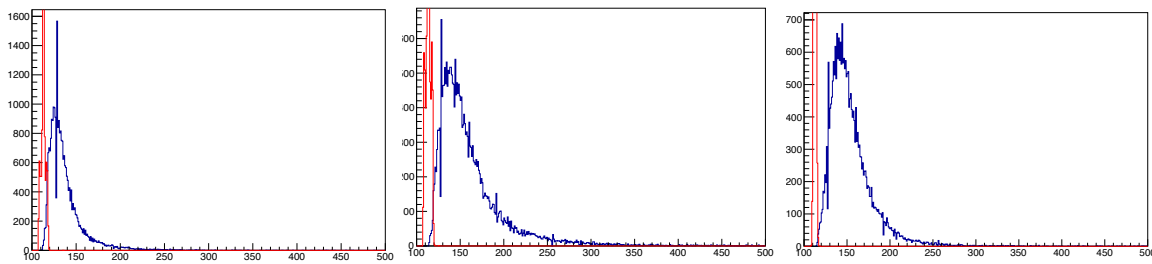


図 2. Veto 装置の 1 系統部(写真)

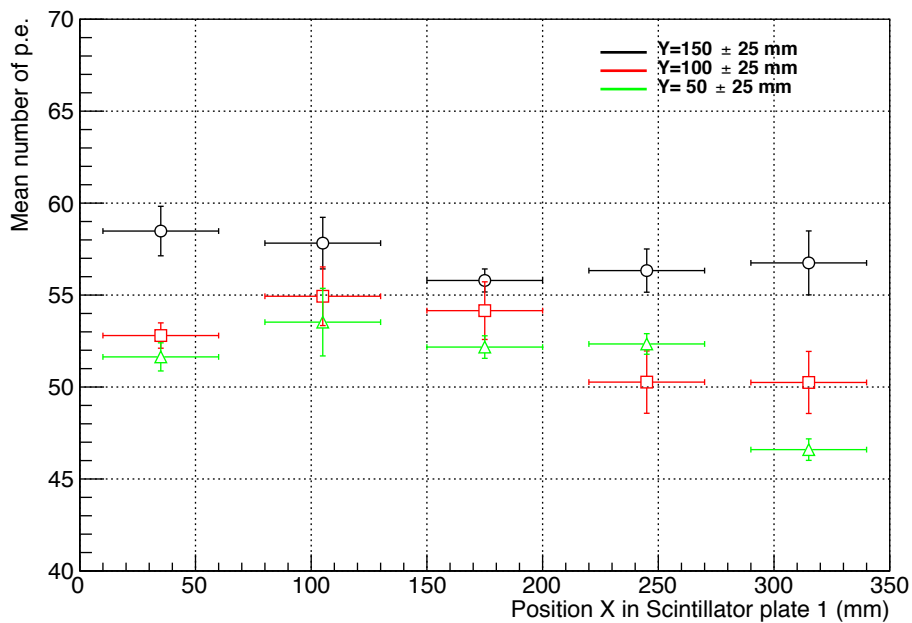


図 2. Veto 装置の 1 系統部(写真)

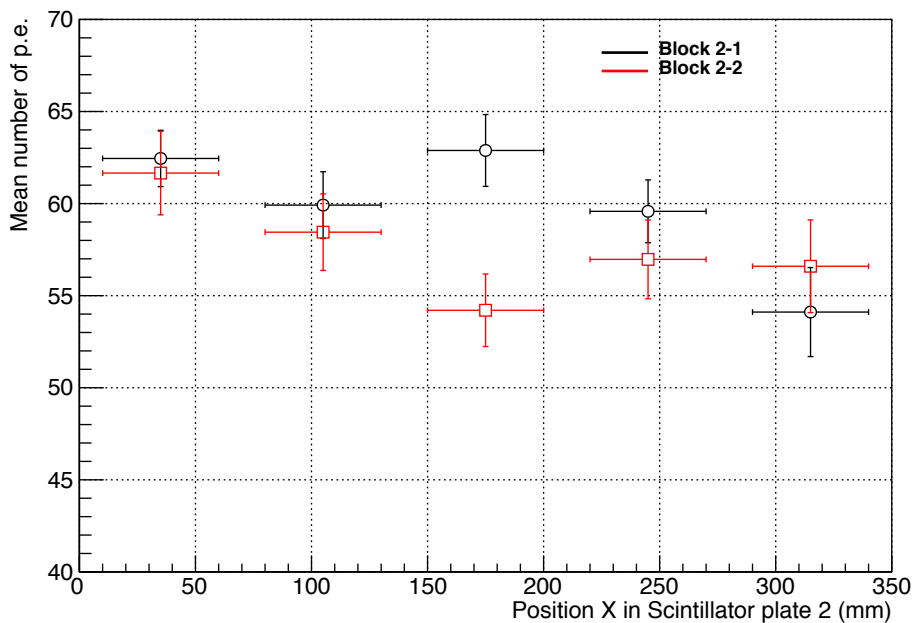


図 2. Veto 装置の 1 系統部(写真)

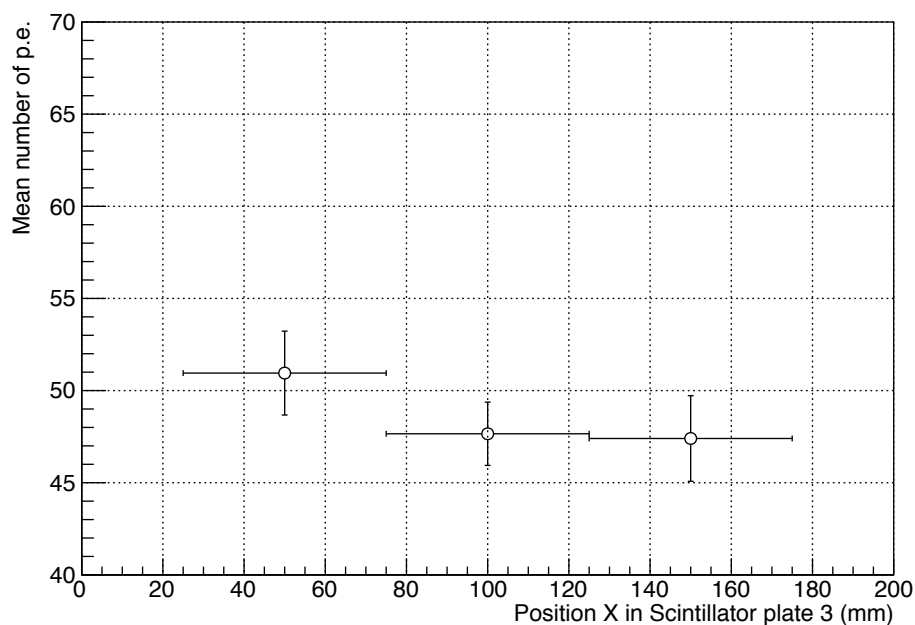


図 2. Veto 装置の 1 系統部(写真)

4. 考察

前回の基礎研究ではこの設計で 19 p.e. 得られると予想されたが、結果 50 p.e. ほど観測された。考えられる要因を幾つかあげて議論しよう。

- (1) PMT が R9880U-210 から H11934-200 に変更されたことによる量子効率の違い：変更した PMT は有効面積が大きくなったが、光電面の素材は変わっていないため量子効率が 2 倍も変化するとは考えられない。
- (2) ファイバーに宇宙線が直撃した事象では光量が増加するか：ブロック 1 では可能性があるが、2 と 3 についても 2 倍増加していることは説明できない。
- (3) 光学セメント：基礎研究では光学グリスを塗ったが気泡がどの程度含まれていたか、粘性はあるものの重力でグリスの濃淡は否めない。そのため基礎研究では低く見積もっていたのではないだろうか。その点光学セメントで気泡はできるだけ小さく接着され固定されていることから、差が生じたと考えたと説明できそう。

5. まとめ

本測定はベトーカーをアップグレードして RTSC-A の性能を向上することが目的である。そのためベトーカーの検出効率を評価した。基礎研究の予想値を 2 倍以上高い光電子数を獲得し目標を達成した。これは第 112 回日本医学物理学会学術大会で発表報告した。今後の仕事はこのベトーカーを RTSC-A にインストールして性能向上したか評価することだ。9 月 27 日に産学官合同技術シーズ交流会での展示、同月 28～30 日の INTERMEASURE2016 の展示、10 月 29 日～11 月 6 日の IEEE NSS&MIC の発表のために、RTSC-A の完成を進める。